



# Impact du changement climatique sur la sécheresse et l'eau du sol en France : les résultats du projet CLIMSEC

Jean-Michel Soubeyroux, N. Kitova, M. Blanchard, Jean-Philippe Vidal

## ► To cite this version:

Jean-Michel Soubeyroux, N. Kitova, M. Blanchard, Jean-Philippe Vidal. Impact du changement climatique sur la sécheresse et l'eau du sol en France : les résultats du projet CLIMSEC. 3èmes Rencontres de la recherche et du développement en Poitou-Charentes - Changement climatique : quelles perspectives pour l'agriculture régionale, Dec 2011, Melle, France. p. 9 - p. 16. hal-00778604

**HAL Id: hal-00778604**

**<https://hal.science/hal-00778604>**

Submitted on 21 Jan 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Impact du changement climatique sur la sécheresse et l'eau du sol en France : les résultats du projet CLIMSEC**

Jean-Michel Soubeyroux<sup>1</sup>, Nadia Kitova<sup>2</sup>, Michèle Blanchard<sup>1</sup>,

Jean-Philippe Vidal<sup>3</sup>

1 : Météo-France, Direction de la Climatologie

2 : CNRS GAME

3 : Cemagref, URHLY

La France est particulièrement concernée par le risque d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses. Les études menées jusqu'à présent se sont surtout focalisées sur l'évolution des précipitations ou le débit des rivières.

L'objectif du projet ClimSec<sup>1</sup> était de compléter ces analyses par une étude de l'évolution passée et future des réserves en eau des couches superficielles des sols en mettant l'accent sur les évolutions attendues à la fin du siècle mais aussi aux échéances proches.

L'emploi d'un modèle physique atmosphère-sol-végétation pour l'étude de la ressource en eau plutôt qu'une approche paramétrique classique basée sur l'évapotranspiration (ETP), est une des originalités de cette étude. Le modèle utilisé Safran-Isba-Modcou (SIM), fruit de travaux de recherche communautaire (Météo-France, Mines Paris Tech, Cemagref) entrepris depuis plus de 20 années, présente l'avantage d'être intégré dans la production opérationnelle quotidienne de Météo-France.

La première partie de cet article présente les indicateurs retenus pour la caractérisation des sécheresses et leur application pour le suivi hydrologique opérationnel en prenant l'exemple de la sécheresse du printemps 2011. A partir de plusieurs projections climatiques sur le XXIème siècle, préalablement régionalisées sur la France, la seconde partie vise à préciser l'évolution attendue des sécheresses et les principales incertitudes associées.

### **I Caractérisation des sécheresses**

#### ***I-1 Définition des indices de sécheresse***

Une sécheresse est définie par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) comme un déficit hydrique, lié à un manque de précipitation, sur une période prolongée. Différents types de sécheresse (météorologique, agricole, hydrologique) sont classiquement identifiés et peuvent être évalués sur différentes profondeurs temporelles selon les domaines d'application.

L'OMM a adopté en 2009 un indicateur standardisé universel, pour le suivi des sécheresses liées au déficit de précipitations : le Standardized Precipitation Index (SPI). Dans le cadre du projet ClimSec, trois types d'indices ont été calculés selon la même approche: le Standardized Precipitation Index lui-même, le Standardized Soil Wetness Index (SSWI) et le Standardized Flow Index (SFI). Le tableau 1 présente la correspondance entre les variables SIM, les types de sécheresse et les indicateurs

---

<sup>1</sup> Projet CLIMSEC (2008-2011), mené par Météo-France, avec le soutien de la Fondation MAIF, rapport disponible en ligne : <http://www.cnrm-game.fr/projet/climsec>

associés. Il donne également le domaine de calcul de ces différents indicateurs sur la France. Ces indicateurs, basés sur la chaîne SIM, permettent ainsi une qualification des événements majeurs de sécheresse observés en France depuis 1958

Ce type d'indicateur a été mis en place expérimentalement avec les services opérationnels en 2011 pour le suivi hydrologique national des sécheresses météorologiques et agricoles (ou édaphiques). Il a été calculé sur des profondeurs temporelles glissantes de 1 à 24 mois permettant de caractériser des sécheresses tant saisonnières qu'annuelles.

	Variable	Type de sécheresse	de Indicateurs	Domaine de calcul
Safran	Précipitations	Météorologique	SPI	8602 mailles
Isba	Humidité du sol	Agricole	SSWI	8602 mailles
Modcou	Débits	Hydrologique	SFI	1163 stations/exutoires

**Tableau 1** : correspondance entre variables SIM, types de sécheresses et indices associés et domaine de calcul (source La Houille Blanche : DOI 10.1051/lhb/)

Il est rappelé que le modèle SIM réalise une modélisation du bilan hydrique sur la France sur une grille régulière de 8 km en s'appuyant notamment sur l'ensemble des données pluviométriques présentes dans la base de données climatologiques de Météo-France (4500 postes).

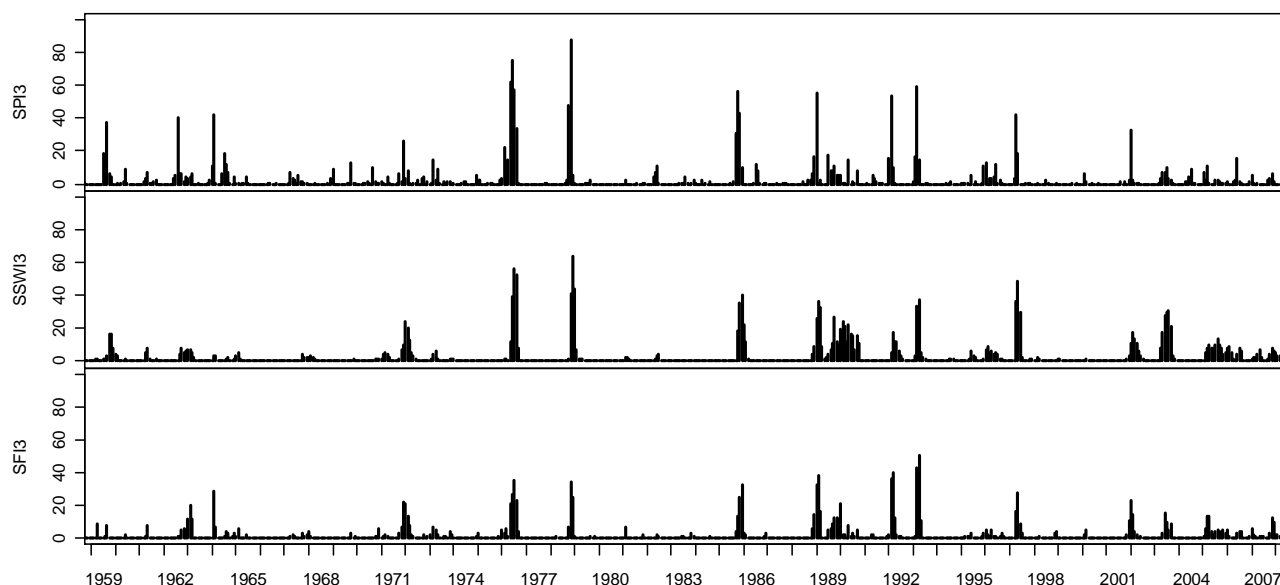
## I-2 Caractérisation des périodes sèches

L'évolution de chaque indicateur de sécheresse peut tout d'abord être examinée de manière globale sur la France en considérant la proportion du territoire affectée par la sécheresse, i.e. où l'indicateur est en-dessous d'un seuil donné. La figure 1 présente l'évolution de cette surface pour les indicateurs SPI, SSWI et SFI sur une profondeur temporelle de 3 mois (SPI3, SSWI3, SFI3) sur la période de 1958 à 2008.

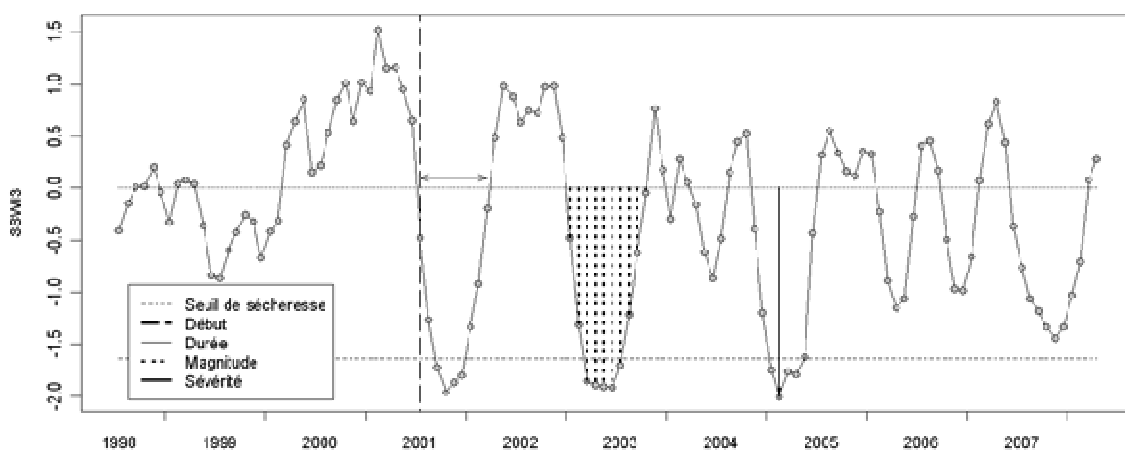
On peut ainsi identifier les périodes où la sécheresse affectait une part conséquente du territoire, par exemple l'année 1976 ou encore les trois années 1988 à 1990. La figure 1 met en avant la forte corrélation entre les déficits de chacune des composantes du cycle hydrologique, mais aussi des différences notables. On peut ainsi remarquer le déficit d'humidité du sol important et étendu durant l'année 2003 en raison des fortes valeurs d'évapotranspiration liées aux températures élevées, sans signal équivalent en termes de précipitation.

## I-3 Identification locale et nationale des événements

Le choix d'un seuil d'état de sécheresse d'état (par rapport à l'ampleur/sévérité) permet d'identifier les événements indépendants à l'échelle locale et de déterminer leurs caractéristiques, comme indiqué sur la figure 2. Cet exemple pour le SSWI3 d'une maille située près de Toulouse montre trois événements franchissant le seuil de 5% sur les 10 dernières années et la manière dont sont définies les différentes caractéristiques événementielles : début de l'événement, durée, magnitude (valeur absolue de la somme des valeurs de l'indice durant l'événement, en mois) et sévérité (valeur absolue du minimum atteint). L'identification des événements de sécheresse peut alors être effectuée sur chacun des points de calcul, afin de mettre en lumière les spécificités régionales des caractéristiques des événements de sécheresse.



**Figure 1** : superficie affectée par la sécheresse, en % de la France (SPI et SSWI) ou % des stations (SFI) de 1958 à 2008. L'échelle de temps des indices est de 3 mois et le seuil utilisé pour l'état de sécheresse correspond à une probabilité de 5%.(source La Houille Blanche : DOI 10.1051/lhb/)



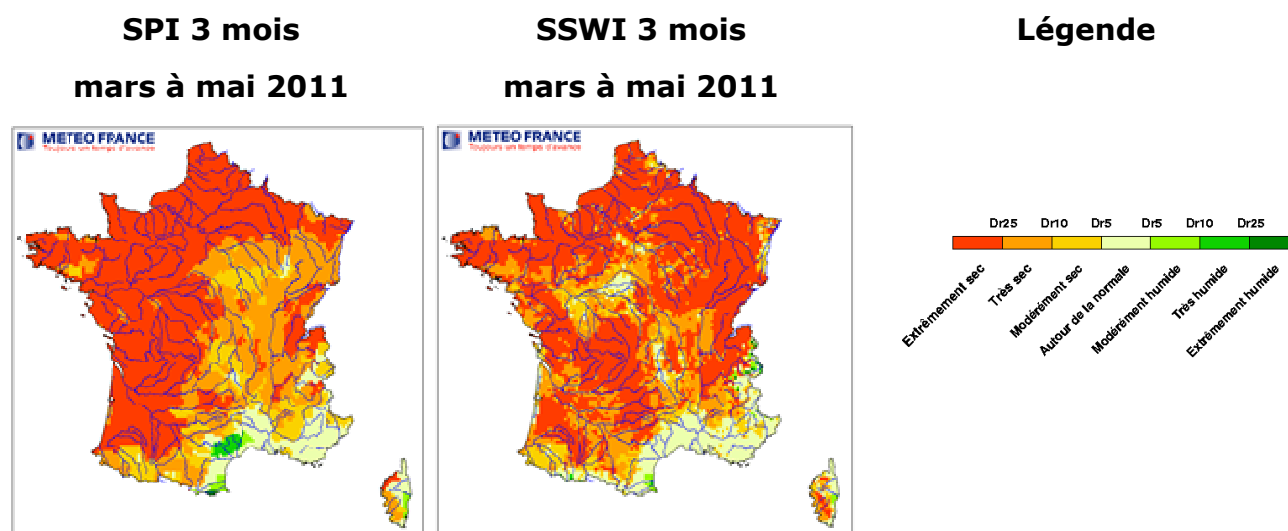
**Figure 2** : définition des caractéristiques locales des événements de sécheresse : début, durée, magnitude et sévérité. Exemple de l'évolution du SSWI3 sur 10 ans sur une maille située près de Toulouse avec un seuil fixé à 5%.(source La Houille Blanche : DOI 10.1051/lhb/)

#### **I.4 Analyse de la sécheresse du printemps 2011**

Sous l'influence persistante de conditions anticycloniques, la France a connu un printemps 2011 exceptionnellement sec et chaud. Les indicateurs de sécheresse, précédemment définis, ont été testés pour le suivi hydrologique opérationnel.

La figure 3 montre le caractère exceptionnel de la sécheresse printanière de l'année 2011 avec une « durée de retour » supérieure à 25 ans pour la composante météorologique (SPI) et agricole (SSWI) au pas de temps de 3 mois sur quasiment tout le pays à l'exception des régions méditerranéennes.

La correspondance directe qui peut être établie entre les valeurs de l'indicateur, la probabilité d'apparition du phénomène (durée de retour) a été utilisée pour la définition de la légende particulièrement orientée vers la qualification de la sécheresse.



**Figure 3** : cartographie de l'évolution de l'indicateur de sécheresse SPI et SSWI sur 3 mois en France en mai 2011 selon une représentation directement reliée à la probabilité d'apparition du phénomène (durée de retour).

## II Evolution des sécheresses en climat futur

### II.1 Les différentes projections climatiques

Trois expériences ont été utilisées pour l'étude des sécheresses en France sous changement climatique. Elles ont été choisies afin d'évaluer l'influence des différentes sources d'incertitude : méthodes de descente d'échelle, scénarios socio-économiques et modèles climatiques. L'ensemble des informations relatives aux projections climatiques exploitées dans le projet ClimSec est donné dans le tableau 2.

Dans chacune de ces expériences, le modèle Isba a été forcé par les différentes projections climatiques régionalisées, pour obtenir les simulations hydrologiques sur le XXI<sup>e</sup> siècle.

Les indicateurs standardisés précédemment définis ont été calculés tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle. Une discussion particulière a été menée sur le choix du climat de référence utilisée pour les calculs des indicateurs sur le XXI<sup>e</sup> siècle en regard de sa sensibilité sur les résultats et sa pertinence sur le diagnostic déduit. La période 1961-1990 a été finalement choisie comme référence climatologique conformément aux travaux du GIEC. De nouveaux objets d'analyse ont également été nécessaires pour caractériser les évolutions spatio-temporelles des sécheresses comme le temps passé en sécheresse sur une période de 30 ans (TPS) ou la distribution de la superficie du territoire affectée par les sécheresses.

Scénario d'émissions			A2		A1B		B1		Périodes
Méthode d'échelle	de	descente	TT	QQ	TT	QQ	TT	QQ	
	<b>SAMM</b>		x	x					1961-2099
<b>Modèle</b>	<b>Arpege V4.6</b>	<b>- Climat</b>	x		x		x		1959-2100
	<b>6 modèles de GIEC AR4</b>				x				1960-2000 et 2046-2065

**Tableau 2** : présentation des projections climatiques utilisées dans le cadre du projet ClimSec.  
 TT: types de temps; QQ : quantile-quantile.

## II.2 Caractéristiques générales de l'évolution attendue

L'évolution des sécheresses en métropole au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, étudiée à partir des différentes projections climatiques, montre de grandes cohérences dans la tendance temporelle, malgré les incertitudes liées aux modèles climatiques, aux scénarios socio-économiques ou les méthodes de descente d'échelle.

Sur la base du modèle Arpège V4.6 et des trois scénarios socio-économiques B1, A1B, A2, l'évolution suivante des sécheresses météorologiques et agricoles sur 3 mois (voir figures 4 et 5) est mise en évidence :

- pour le premier tiers du siècle (années 2020s), il n'y a pas de changement notable des caractéristiques des sécheresses météorologiques par rapport à la période 1961-1990 mais une aggravation des sécheresses agricoles semble se mettre en place ;
- au milieu du siècle (années 2050s), des évolutions très significatives commencent à concerner les sécheresses agricoles. Des sécheresses inhabituelles en termes d'expansion spatiale ou d'intensité pourraient apparaître: une sécheresse, telle qu'observée en 1990 pour le SWI3, pourra être fréquemment dépassée ;
- à la fin du siècle (années 2080s), des sécheresses météorologiques plus fortes apparaissent également. Des événements tels qu'observés en 1976, sont alors fréquemment dépassés. La situation est plus sévère sur le plan des sécheresses agricoles. Les projections climatiques indiquent qu'une grande partie du territoire pourrait connaître de très longues sécheresses du sol quasiment sans retour à la situation normale, définie selon le climat actuel.

## II.3 Évolution saisonnière des sécheresses

On peut aussi caractériser les évolutions spatio-temporelles des sécheresses de manière globale au cours de l'année. L'intensité moyenne des sécheresses selon la période de l'année où elles se produisent, a une grande influence sur les impacts pour les écosystèmes et les activités économiques, agricoles notamment.

Les figures 9 et 10, issues du modèle ARPEGE V4.6 scénario A2, présentent une cartographie moyenne sur 30 ans des indices SPI3 et SSWI3 pour les mois de février, mai, août et novembre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, représentant respectivement les sécheresses hivernales, printanières, estivales et automnales.

Pour les sécheresses météorologiques, on note :

- aucune évolution sensible, quelle que soit la saison jusqu'en 2050 ;
- en fin de siècle, les sécheresses estivales s'aggravent quasiment sur l'ensemble du pays, alors que l'augmentation des sécheresses hivernales ne concernent que le Sud-Ouest du pays, et les sécheresses automnales la façade Ouest ;
- pas d'évolution des sécheresses printanières même en fin de siècle.

Le diagnostic établi pour les sécheresses agricoles est par contre assez différent :

- l'aggravation des sécheresses au cours du XXI<sup>e</sup> siècle est continue et concerne toutes les saisons, y compris la période proche centrée autour de 2020 ;
- en 2050, l'aggravation la plus sensible sur le pays concerne les sécheresses printanières, à l'exception des Alpes du Nord du fait vraisemblablement d'une fonte plus précoce du manteau neigeux ;
- en fin de siècle, les sécheresses extrêmes printanières et estivales prédominent dans la plupart des régions, à l'exception des régions méditerranéennes ainsi que des Alpes du Nord mais seulement au printemps ; les sécheresses hivernales extrêmes et à un degré moindre les sécheresses automnales sont plus fortes sur la moitié nord.

## II.4 Incertitudes

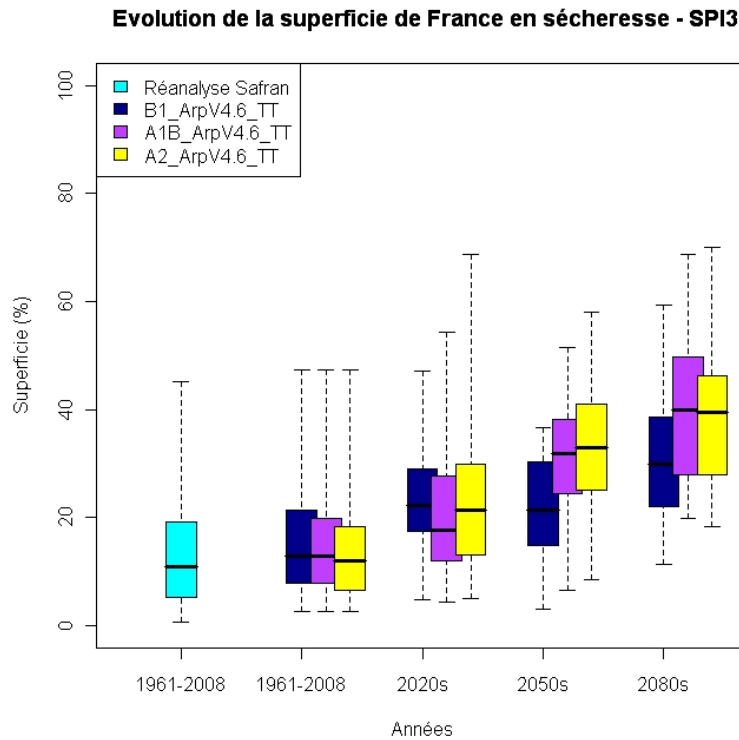
Sur la période du milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, on dispose simultanément des jeux de données pour la comparaison de 6 modèles climatiques, de 3 scénarios socio-économiques et de 2 méthodes de descente d'échelle. À partir de la comparaison des dispersions spatiales entre les modèles (A1B\_ArpegeV4.6\_TT - A1B\_MM), les scénarios climatiques (A2\_ArpegeV4.6\_TT - A1B\_ArpegeV4.6\_TT - B2\_ArpegeV4.6\_TT) et les méthodes de descente d'échelle (A2\_ArpegeV4.5\_QQ - A2\_ArpegeV4.5\_TT), on peut comparer l'influence relative des différentes sources d'incertitudes, exprimées à travers le TPS météorologique et agricole.

On note que c'est l'incertitude liée aux méthodes de descente d'échelle qui semble la plus réduite au milieu du XXI<sup>e</sup> siècle. Par contre l'incertitude des modèles climatiques est du même ordre de grandeur que celle liée aux scénarios d'émissions entre A2, A1B ou B1. Le poids relatif des sources d'incertitudes est comparable pour les sécheresses météorologiques et agricoles même si l'amplitude des incertitudes est beaucoup plus forte en matière d'humidité des sols, cumulant les incertitudes relatives des différentes composantes des forçages atmosphériques.

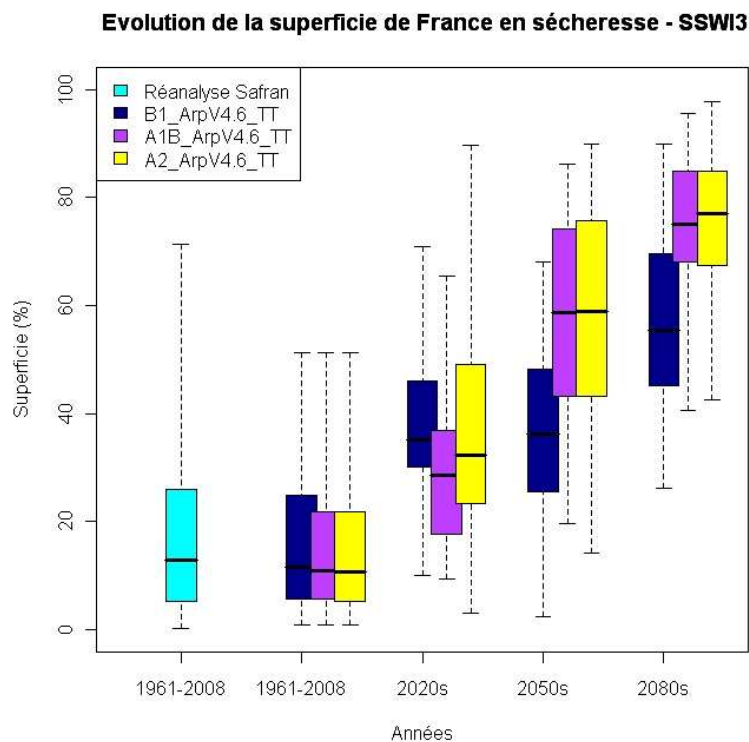
## III Conclusions

Les travaux sur l'analyse des sécheresses en France menés dans le cadre du projet ClimSec ont permis de mettre au point des méthodes et des outils de caractérisation des différents types d'événements dans une perspective historique longue, débutant en 1958 avec le modèle SIM. Ces outils sont aujourd'hui applicables en temps réel et ont été mis à disposition des services hydrologiques opérationnels pour le suivi de la sécheresse printanière 2011.

Ces méthodes ont également été utilisées en climat futur à partir des principales projections climatiques régionalisées disponibles sur notre pays. Malgré les incertitudes liées aux modèles climatiques, aux scénarios socio-économiques et aux méthodes de descente d'échelle, les grandes lignes de l'évolution attendue des sécheresses annoncent de possibles modifications profondes des événements connus jusqu'à ce jour.

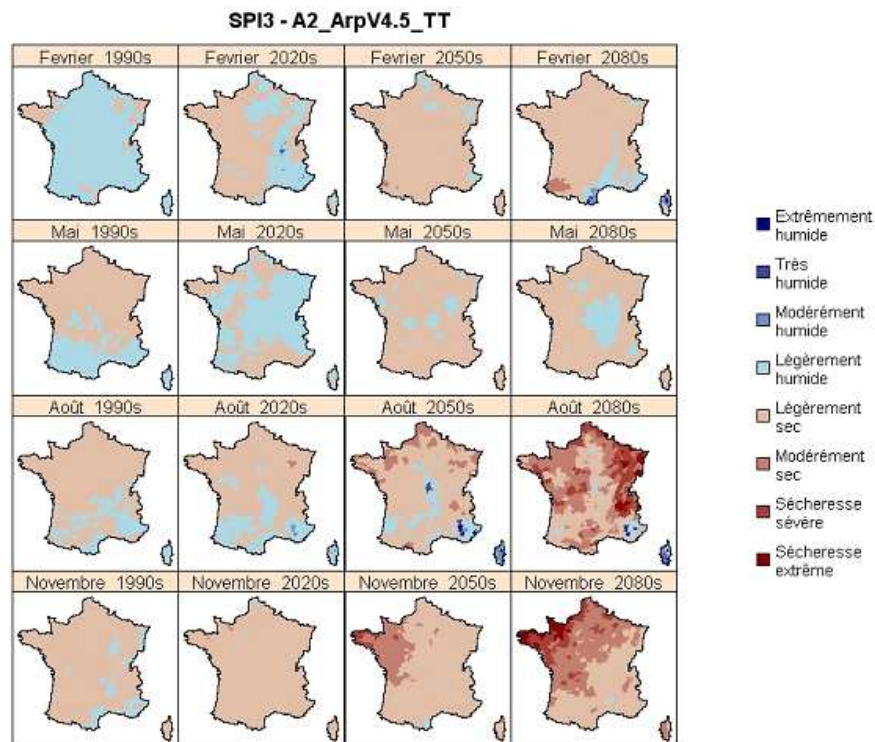


**Figure 4 :** diagramme en boîtes (valeur minimale, 1<sup>er</sup> quartile, médiane, 3<sup>e</sup> quartile et maximale) sur la période 1961 à 2100 pour la superficie affectée par les sécheresses météorologiques (SPI3), modérées à extrêmes, sur la France en fonction des scénarios climatiques B1, A1B, A2 du modèle ArpegeV4.6, régionalisation par type de temps (TT).

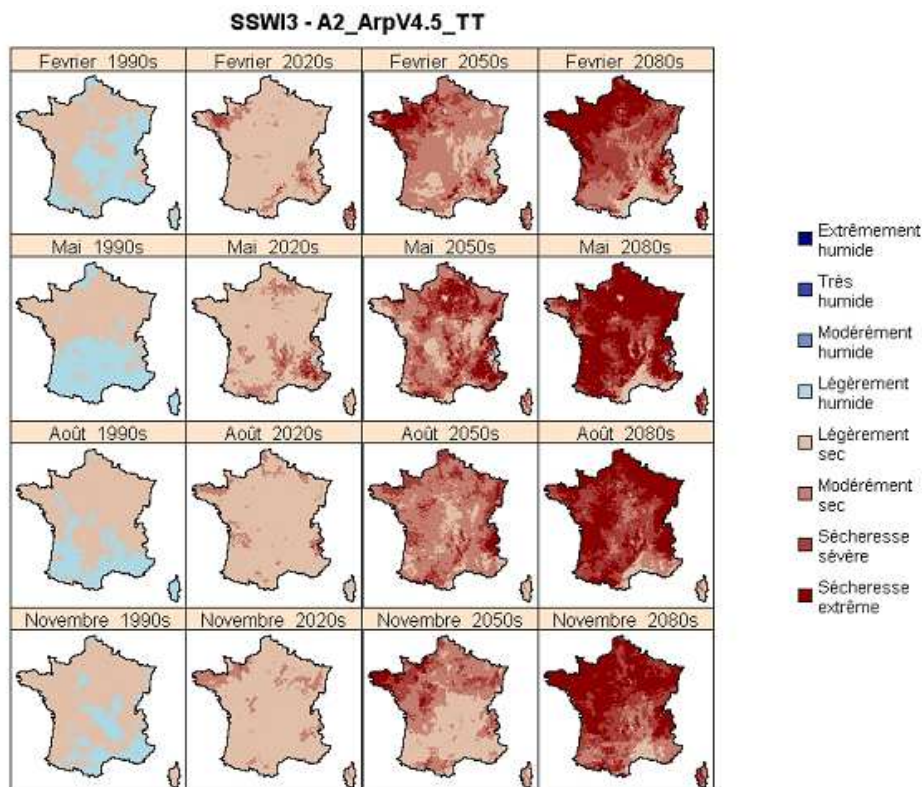


**Figure 5 :** même graphique que la figure 7 pour les sècheresses agricoles sur 3 mois (SSWI3).





**Figure 6 :** évolution temporelle moyenne des sécheresses SPI3 au cours du XXI<sup>e</sup> siècle selon les saisons (février=hiver, mai=printemps, août=été, novembre=automne) à partir des projections Arpège V4.6 scénario A2, méthode de descente d'échelle types de temps. <http://www.cnr-mgame.fr/projet/climsec>



**Figure 7 :** idem figure 6 pour l'évolution des sécheresses SSWI3.